Jussi Kilpelä

LCC-laskentaohjelman kehittäminen

Metropolia Ammattikorkeakoulu

YAMK

Talotekniikka

Opinnäytetyö

17.10.2016

Metropolia

Tekijä Otsikko Sivumäärä Aika	Jussi Kilpelä LCC-laskennan kehittäminen 30 sivua + 1 liitettä 17.10.2016
Tutkinto	Insinööri (ylempi AMK)
Koulutusohjelma	Talotekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	LVI talotekniikka
Ohjaajat	yliohjaaja Lauri Heikkinen suunnittelujohtaja (DI) Ari Savolainen

Investointikustannukset ohjaavat yleensä rakennushakkeisiin ryhdyttäessä. Rakennuttajien yleisen kustannustietoisuuden kasvaessa, elinkaarikustannusten merkitys on kasvanut huomattavasti ja ne ovat alkaneet ohjata hakkeisiin ryhtyviä enemmän. Tämänhetkisessä tilanteessa elinkaarikustannuslaskennat on tehty ulkopuolisen tahon toimesta ja niiden selvitys haluttiin pystyä hoitamaan omalla ohjelmalla.

Opinnäytetyön tarkoituksena on tehdä toimiva, riittävän tarkka ja yksinkertainen elinkaarilaskentaohjelma liike- ja toimitila kohteille. Ohjelman tarkoituksena on toimia työkaluna päätöksen tekoon, jolla voidaan valita elinkaarikustannusten kannalta parhain kokonaisuus rakennustarpeelle. Energiankulutus ja sen kustannukset haluttiin liittää laskentaan, koska sillä todettiin olevan oleellinen merkitys ylläpitokustannuksia tarkastellessa.

Ohjelman halutaan tuovan esille, miten eri järjestelmä ratkaisut vaikuttavat rakennuksen elinkaarikustannuksiin. Elinkaarikustannuksista ohjelman laskennassa huomioidaan investointi-, käyttö- ja hoito-, kunnossapito- ja uusimiskustannukset.

Opinnäytetyön tekoon lähdettiin perehtymällä teoriatietoon sekä aiempiin tutkimuksiin elinkaarikustannuslaskennasta ja elinkaarikustannuslaskennan määrittämisestä. Elinkaarilaskentamallia lähdettiin luomaan yhdessä ohjaavan henkilön kanssa, jotta työkalun sisältö ja käytettävyys palvelisi parhaiten käyttäjiään.

Opinnäytetyössä tutkittiin ohjelman laskennan toimivuutta ja tarkkuutta vertailemalla toteutuneiden ja rakenteilla olevien kohteiden laskentoihin. Kustannustietoutta ohjelmaa varten kerättiin kyselyin eri osa-alueiden ammattilaisilta.

Opinnäytetyöprossissa opittiin, että elinkaarikustannusten määrittäminen rakennukselle tarkasti on mahdollista, jos rakennuskohteen muoto ja käyttötarkoitus sisältöineen voidaan määrittää selkeästi. Lisäksi opinnäytetyöprossissa opittiin, että on tärkeää tehdä selkeät rajaukset sisällöstä, jotta työ itsessään ei paisuisi mahdottoman suureksi.

Avainsanat	elinkaarilaskenta, LCC-laskenta, kehitys

Author Title Number of Pages Date	Jussi Kilpelä Developing LCC-calculation program 30 pages + 1 appendices 17 October 2016
Degree	Master of Engineering
Degree Programme	Civil Engineering
Specialisation option	Building Services Engineering
Instructors	Lauri Heikkinen, Principal Lecturer Ari Savolainen, Designing Director Building Services

The purpose of this thesis was to build a properly working, accurate and simple enough LCC calculation programme for business premises. The purpose was to create an advisor for decision making to optimize construction from the LCC perspective. Energy consumption and energy costs were included, because they affect maintenance costs significantly.

The program was to show how different choices in building systems affect the LCC costs. Investment, maintenance, overhaul and reneovation costs were included in the LCC calculations. The final year project included a literary study of life cycle costs. The model for the programme was designed with the company's design director. The programme was to be simple to use so it would serve its users as well as possible. The accuracy and functionality of the programme were tested by calculating existing and in-build constructions. Data for material and workmanship costs were collected from various experts of the company.

It was established that it is possible to make accurate LCC calculations for buildings if the shape and systems of the building can be defined. The results from calculations showed that the accuracy of the calculations was sufficient. The programme will be tested further by various experts of the company before it is released.

Keywords	life cycle calculations, LCC, development

Sisällys

1 Johdanto 1

2 Lehto Group 3

3 Elinkaarilaskenta 5

3.1 Elinkaarilaskennan historia 5
3.2 Elinkaarilaskennan perusteita 6
3.3 Elinkaarilaskennan tulevaisuus 10

4 Ohjelman rakenteen suunnittelu 11

4.1 Ohjelman sisältö 11
4.2 Ohjelman vaiheet 14
4.3 Ohjelman laskentaosuuden rakentaminen 17
4.4 Ohjelman virhelaskennan estäminen 22

5 Ohjelman testaus 23

5.1 Ohjelman väärinlaskennan tarkastelu 23
5.2 Ohjelman virheiden etsiminen 23
5.3 Tulosten analysointi 24

6 Ohjelman tulosten vertailu LCC-laskennan toteutuneisiin tuloksiin 24

6.1 Testaus olemassa oleville kohteille 24
6.2 Testaus tuotannossa oleville kohteille 25
6.3 Tulosten analysointi 25

7 Yhteenveto 28

Lähteet 30

Liitteet

Liite 1. Ohjelman rakenne

1 Johdanto

Lehto Group Oy on nopeasti kasvava rakennusalan yritys, jonka perusperiaatteena on talousohjattu rakentaminen. Yrityksen liiketoiminta on vahvasti kasvavaa ja toimintaa halutaan kehittää alati. Yrityksen talousohjatun mallin mukaisesti, Lehto haluaa omalla sisäisellä työllään kehittää yrityksen toimintamalleja ja yhtenä näistä on elinkaarilaskentapuolen toiminta. Lehto on aiemmin ostanut kaiken elinkaariosaamisensa ulkopuolelta ja, nyt tarkoitus on kehittää talon sisällä ohjelmia, joilla elinkaarilaskentaa saadaan itse suoritettua.

Elinkaarikustannuksilla (Life Cycle Costs) tarkoittetaan kaikkia niitä yhteenlaskettuja kustannuksia, joita rakennuksella syntyy, tai voidaan olettaa syntyvän, sille määritetyn elinkaaren aikana. Elinkaari muodostuu laitteen tai järjestelmän suunnittelusta, valmistuksesta, käytöstä, koulutuksesta, kunnossapidosta ja hävityksestä. Tarkastelussa saadaan määritettyä laitteelle tai järjestelmälle todellinen elinkaarikustannus ja tätä kautta on mahdollista valita kohteelle paras investointi. Hankintakuluiltaan halvin tuote tai järjestelmä ei todennäköisesti ole halvin elinkaaritarkastelun kannalta.

Rakennuskenttä ja tilaaja ovat viime vuosina heränneet elinkaarikustannusten osalta. Tämän takia tulevaisuuden näkymä elinkaarikustannusten tarkastelulle on kasvava. Nykyään tilaajien on painotus kustannuksien osalta muuttunut pelkistä investointikustannuksista yhä enemmän elinkaarikustannuksia kohtaan. Osittain tähän vaikuttavat myös uudet urakkamuodot, kuten elinkaari, allianssi jne. Suunnittelijoiden tietämys eri valintojen elinkaarikustannuksista on myös rajallinen, ja perustuu usein korkeintaan laite- tai järjestelmätoimittajan laskelmiin. Näin ollen suunnitelmien tilaajan (urakoitsijan) tulee ohjata valintoja oikeaan suuntaan.

Lehto Groupin toimintaperiaate on talousohjattu rakentaminen. LCC-laskenta käsittää investointikustannusten vaikutusta kohteen tuotteen tai palvelujen osalta koko elinkaaren tai elinkaaren osan ajalta ja tämän takia Lehto Group haluaa olla ajan tasalla tässäkin asiassa. Tästä syystä Lehto Group haluaa lähteä rakentamaan omaa LCC-laskentaohjelmaa. LCC-laskentaohjelman tavoitteena on antaa suuntaa projektien alkuvaiheessa siitä, mitkä rakennuksen elinkaarikustannukset voisivat olla. Ohjelman kautta voitaisiin tutkia, millä muutoksilla kohteen elinkaarikustannuksia saataisiin optimoitua. Ohjelman tarkoituksena olisi toimia Lehto Goupille apuna myyntitilanteissa, päätöksenteossa ja

suunnittelussa. Lisäksi ohjelmaan toivotaan sisältävän laskennan, millä saadaan suuntaa antava arvio investointikustannuksista peilattuna koko rakennuksen elinkaarikustannuksiin. Tärkeimpänä tietona tässä kaivataan rakentamisen prosenttiosuutta kaikista elinkaarikustannuksista. Tällä halutaan saada selville se, kuinka suurta osuutta elinkaarikustannukset näyttelevät ja kuinka pienillä investoinneilla saadaan merkittävä vaikutus elinkustannuksiin, joko positiivisesti tai negatiivisesti.

Laskentaohjelman tarkkuus tullaan rajaamaan niin, ettei kaikista pienimpiä yksittäisiä kustannuksia laskennan osa-alueista lasketa mukaan, vaan tarkoituksena on laskea suuret linjaukset. Laskennan rakennuskohteet tulevat käsittämään vain liike- ja toimitilapuolen rakennuskohteita. Näissä kohteet päätettiin rajata toimistoon, varastoon, liikuntahalliin ja myymälään aikataulussa ja laadussa pysyäkseen. Laskentatyökalussa tullaan jättämään, ainakin tässä vaiheessa vielä pois ympäristöhaittojen sisällyttäminen laskentaan. Tarkoitus on lähteä tutkimaan nykyisiä laskentaohjelmia ja koostaa niistä parhaat ajatukset yhteen ja lähteä rakentamaan siitä ohjelmaa.

Tarkoituksena on tehdä perinteinen taloudellinen työkalu. Työkalusta haluttiin tehdä mahdollisimman tarkka, jotta ohjelmalla saadaan muodostettua realistinen kuva kohteen elinkaarikustannuksista. Ohjelman tarkkuudeksi määritettiin, että ohjelman tuli päästä noin 5 %:n tarkkuuteen toteutuneesta laskennasta.

Ohjelmaa tullaan testaamaan ohjelman suunnittelijan taholta ja Lehto Groupin työnohjaajan osalta läpi projektin. Lehto Groupilta työnohjaajana toimii suunnittelupäällikkö DI Ari Savolainen. Tarkoituksena on rakentaa ohjelma mahdollisimman pitkälle suunnitteluvaiheessa, jotta suuria muutoksia ei jouduta enää työn aikana tekemään.

2 Lehto Group

Lehdon historia lähtee 1970-luvulta ja tarkalleen ottaen vuodesta 1976, jolloin Rakennuskartio perustettiin Pyhännällä pystyttämään Jukka-Taloja. Toiminta muuttui tästä pian yleisrakennusliiketoiminnaksi. Vuonna 1985 Rakennusliike Mustonen & Lehto perustettiin Ruukkiin, perustajinaan Tapio Mustonen ja Hannu Lehto. Rakennuskartio perusti vuonna 1993 Remonttipartion erikoistumaan saneerausliiketoimintaan pääkaupunkiseudulla. Rakennusliike Mustonen ja Lehto muutti nimensä Rakennusliike Lehto Oy:ksi vuonna 1996, kun Hannu Lehto osti Tapio Mustosen osakekannan. Liike- ja toimitila rakentaminen käynnistyi voimakkaasti vuonna 2005. Vuonna 2008 Rakennusliike Lehto kehitti liiketilojen rakentamiskonseptin ja toiminta laajeni valtakunnalliseksi. Päätoimija Oy perustettiin vuonna 2008 ja Päätoimija Oy osti Rakennusliike Lehdon koko osakekannan ja omistuspohja laajeni. Päätoimija avasi Etelä-Suomen konttorin Lempäälään. Takuuelementti perustettiin Humppilaan, tuottamaan kattoelementtejä. Päätoimija osti Rakennuskartion ja Remonttipartion vuonna 2010. Konsernin pääkaupunkiseudun toimipiste avattiin Petikkoon. Päätoimija osti vuonna 2011 60 % Rakennusliike Koivukosken osakkeista ja Koivukoskesta tuli osa Päätoimijaa. Pääkonttori avattiin Kempeleeseen ja samana vuonna perustettiin OptimiKodit Oy. Vuonna 2013 Pääkaupunkiseudun toimipiste siirtyi Vantaan Äyritielle. Asuntorakentamisen tilaelementtien tuotekehitys ja tuotanto aloitettiin vuonna 2014. Samana vuonna Rakennusliike Valkian liiketoiminta ostettiin sekä suunnitteluosaamista vahvistettiin ostamalla insinööritoimisto Mäkeläinen. Vuonna 2015 Päätoimija Oy muutti nimensä Lehto Group Oyj:ksi. Vuonna 2016 Lehto Group Oyj yhtenäisti liiketoimet Lehto-brändinimen alle sekä listautui Helsingin pörssiin. Samana vuonna Rakennus Oy Warecon koko osakekanta ostettiin vahvistamaan saneerausliiketoimintaa.(VIITE)

Kempeleläisen emoyhtiön Lehto Group Oyj:n lisäksi Lehtoon kuuluu tällä hetkellä täysin sen omistamat tytäryhtiöt Rakennusliike Lehto Oy, Rakennuskartio Oy, Optimikodit Oy, Rakennusliike Koivukoski Oy, Remonttipartio Oy, Takuuelementti Oy, Lehto Bygg Ab, Insinööritoimisto Mäkeläinen Oy ja Rakennusliike Wareco Oy. Lehto Groupin liiketoiminnan historia ulottuu 40 vuoden päähän. Vanhimpana konsernin tytäryhtiönä on toiminut Rakennuskartio Oy jo vuodesta 1976 lähtien.

Lehto on Suomen yksi viime vuosina nopeimmin kehittyvistä rakennus- ja kiinteistöalan konserneista. Suosio perustuu asiakkaan tarpeiden ja toiveiden mukaiseen, kustannus-

tehokkaaseen suunnitteluun ja rakentamiseen. Talousohjattu toimintamalli tehostaa rakentamisen yleisiä käytäntöjä, tuottaa asiakkaalle merkittäviä aika- ja kustannushyötyjä sekä varmistaa rakentamisen korkean laadun. Lehto Group työllistää tällä hetkellä noin 750 henkilöä ja vuoden 2015 liikevaihto oli 276 miljoonaa euroa.(VIITE)

Rakennusliike Lehto Oy, jolle insinöörityö on tehty, keskittyy liiketoiminnassaan liike- ja toimitilarakentamiseen. Ohjelma on räätälöity pelkästään liike- ja toimitilarakentamisen tarpeita varten.

3 Elinkaarilaskenta

3.1 Elinkaarilaskennan historia

Elinkaarilaskennan juuret ovat lähtöisin Amerikasta 1960-luvulta, kun Yhdysvaltojen puolustusministeriö alkoi kehittää asejärjestelmiensä investointien tehokkuutta. Syy elinkaarilaskennan tarkasteluille syntyi siitä, että investointien elinkaarikulut alkoivat kasvaa kohtuuttomasti. Elinkaarilaskenta kehitettiin toimimaan päätöksentekovälineenä hankinnoille. (Woodward 1997, s.335.)

1970-luvulla elinkaarilaskenta oli konsepti, joka yhdisti matemaattisen, taloudellisen, tilastotieteellisen ja tekniikan menetelmät. Nämä yhdessä kokosivat ja muodostivat merkittävät kustannukset tuotteen omistuksen ajalle. Elinkaarilaskenta sisälsi ennustamista, kustannus-hyötyanalyysiä, tulevien kassavirtojen ennakointia, diskonttausta, herkkyystarkasteluja sekä hinta- ja todennäköisyysarviointia. Monia näistä käytetään edelleen pääomatuoton arviointiin. (Okano 2001, s.327.)

Teollisuus on hyödyntänyt elinkaarilaskentaa pitkää. Tämä johtaa juurensa siitä, että teollisuudessa esimerkiksi prosessin huollot on suunniteltu hyvin tarkasti minuuttiaikataululla. Huoltokatkot tarkoittavat isoja rahanmenetyksiä, kun prosessi seisoo. Tätä varten teollisuudessa tehdään tarkat elinkaarisuunnitelmat ja niitä noudatetaan erittäin tarkasti. Erilaisia elinkaarilaskentamalleja tutkiessa huomaa, että monet niistä ovat hyvin tarkkoja ja soveltuvat vain esimerkiksi tiettyyn teollisuuden osa-alueeseen. Yleispäteviä laskentamalleja löytyy myös, mutta niitä tarvitsee yleensä muokata ja tarkentaa, jotta ne soveltuvat tarvittuihin tarkoitusperiin.

Yrityksissä on herätty elinkaarikustannusten tarkasteluun tiukan taloudellisen tilanteen takia. Halvin investointikustannus ei enää ole merkittävin tekijä hankkeeseen ryhdyttäessä, vaan elinkaarikustannukset alkavat nousta yhä useammin esille. Monilla yrityksillä on omia rakennuttaja-osastojaan, jotka valvovat sitä, että suunnitelluilla ratkaisuilla saadaan optimoidut käyttökustannukset.

3.2 Elinkaarilaskennan perusteita

Elinkaarilaskennassa prosessoidaan kaikki käsillä oleva tieto ja tehdään sitä kautta looginen valinta investoinnille. Kaupallisessa mielessä laskentaa käytetään löytämään paras tuotto investoidulle pääomalle. (Okano 2001, s.318.)

Tarkemmin tarkasteltuna elinkaarilaskennan tarkoituksena on etsiä optimoidut kustannukset investoinnille, omistamiselle ja ylläpidolle niiden eliniän aikana, tunnistaen ja valikoiden kaikki ne olennaiset kulut, jotka ovat osana niiden elinkaarta, käyttäen sillä hetkellä parhaita saatavilla olevia tekniikoita. (Woodward 1997, s.336.)

Elinkaarilaskentaa lähestytään yleensä kahdella tavalla. Ensimmäinen on tuottajan näkökulma ja toinen on käyttäjän näkökulma. Tuottajan näkökulmasta lähestymistapoja on kolme: Susmanin tapa, Shieldsin ja Youngin tapa sekä CAM-I tapa. Susmanin tavassa tavoite on saada tuotantokulut alas ja maksimoida tuotto. Shieldsin ja Youngin tavassa pyritään samaan tuotantokulut alas. CAM-I tapa pyrkii samaan tuotteen elinkaarikustannukset mahdollisimman alas. Pyrkimyksenä on myös se, että tuote on mahdollisimman pitkäikäinen. Käyttäjän näkökulmasta oleva lähestymistapa on perujaan elinkaarilaskennan alusta Yhdysvaltain puolustusministeriön tavasta, jossa tavoitellaan mahdollisimman alhaisia elinkaarikustannuksia.

Elinkaarilaskenta on arviointitapa, joka tunnistaa kaikki kustannukset, jotka kohdistuvat laskentakohteelle sen eliniän ajan. Rakennuksen elinikää tarkastellaan rakennuksen omistajan määrittämän eliniän tai rakennusosien käyttöikälaskelman kautta. Tavanomaisesti rakennuksen elinikä tarkasteluvälinä pidetään 25- 50 vuotta. Laskennalla saadaan rakennettua realistiset elinkaarikustannukset esimerkiksi rakennukselle sen eliniän ajaksi, mitä kautta sijoittajan tai tilaajan on helpompi arvioida sijoittamansa rahan tuottoa. Laskennalla pystytään määrittämään sijoitetun arvon tuotto, missä on huomioitu sijoitettu pääoma, huolto, ylläpito sekä purku. Elinkaarilaskennan tarkoitus on optimoida tilaajan sijoittaman rahan arvo, perustuen parhaiten käsillä olevaan tietoon. Tiedon tulee olla ajan tasalla ja mahdollisimman tarkka, jotta tilaajalle tai sijoittajalle luodaan oikea kuva siitä, mihin hän on rahansa sijoittamassa. Laskentatietojen tarkkuus tulisi siksi päivittää mahdollisimman usein.

Valinnat, joita investoinnissa tehdään, näyttelevät isoa osaa sen elinkaarikustannuksista. Olennaista onkin näyttää investoijalle hänen valintojensa taloudellinen merkitys koko

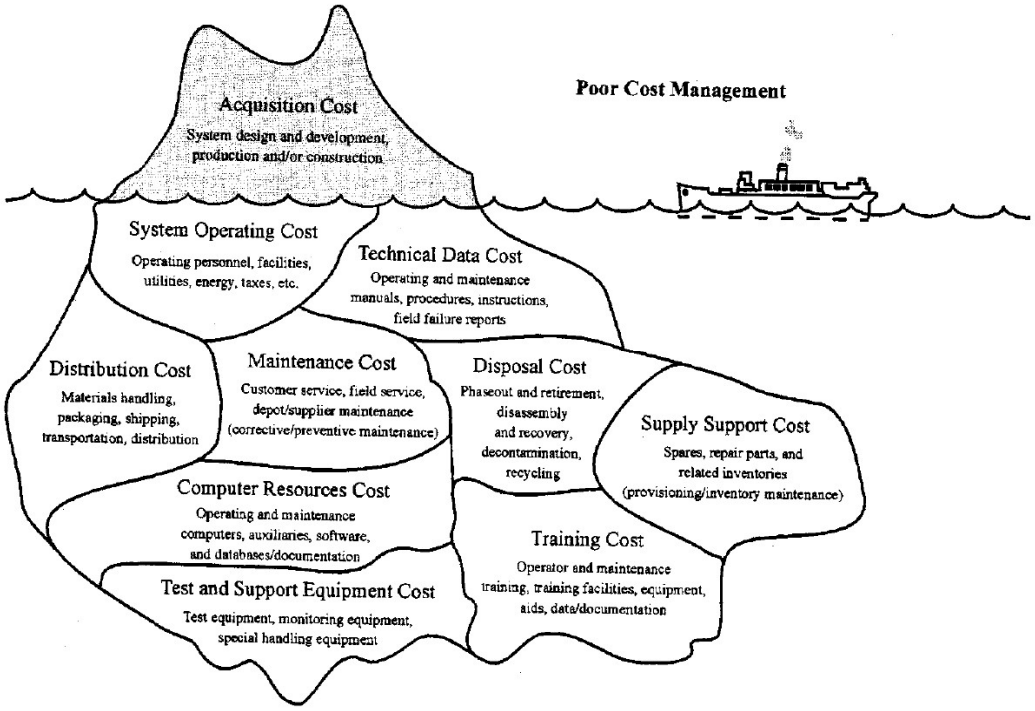
elinkaarta ajatellen. Optimoidut huollon ja ylläpidon palvelut investoinnille, helpottavat elinkaarikustannusten hahmottamista tilaajalle. (Okano 2001, s.319.)

Elinkaarilaskennassa on olennaista saada selville, mikä on tuotteen, tässä tapauksessa rakennuksen, tuotto tilaajalle. Mikäli tuottoa ei synny tarpeeksi tilaajan näkökulmasta, ei tuotetta kannata lähteä edes valmistamaan.

Tuotteen ostaja ei usein ymmärrä todellisia kustannuksia mitä tuote pitää sisällään. Yleensä todetaankin, että ostaja näkee vain jäävuoren huipun todellisista kustannuksista. Suurin osa elinkaarivaikutuksista on poissa näkyvistä joko aika- tai vastuunjakosyistä. Elinkaarimittarien tarkoitus on antaa kokonaiskuva kaikista vaikutuksista. Näin vältetään tarpeeton osaoptimointi ja huono kokonaisuus. (Bruce 2016, s.11.)

Suunnittelulla on suuri merkitys elinkaarikustannuksissa. Materiaali- ja järjestelmävalinnoilla voidaan saada huomattavia kustannushyötyjä samalla parantamalla energiankulutusta. Suunnittelussa tulisi huomioida investointikustannusten ohella kaikki se muu, mitä valitut järjestelmät pitävät sisällään. Nämä järjestelmävalinnat tulisi peilata rakennuksen käyttöikää huomioiden.

Suunnittelussa saatetaan tuoda energiaa säästäviä järjestelmiä, jotka ovat kuitenkin hyvin kalliita huoltaa ja ylläpitää. Tämän takia on tärkeää, että suunnitteluvaiheessa tarkastellaan kustannusperäisesti eri järjestelmä vaihtoehtoja. Oleellinen osa elinkaarikustannuksia onkin järjestelmä valintojen takaisinmaksuajan määrittäminen. Valitun järjestelmävalinnan kokonaiskustannukset tulee selvittää ja määrittää, jotta sen vaikutus osana rakennuksen elinkaarikustannuksia määräytyy oikein.



Kuva 1. Kaikkien kustannusten havaitseminsen ongelma (Fabrycky, & Blanchard, 1991)

Huolto- ja ylläpitokustannukset jäävät usein heikommalle osalle, kun investointikohdetta hankitaan. Usein nähdään investointikustannus, mutta käyttökustannus saattaa usealla jäädä huomioimatta. Kuvassa 1 on esimerkki juuri tästä kaikkien kustannusten havaitsemisen ongelmasta.

Kuvassa 2 on kuvattu Kaufmanin elinkaarilaskennan kaava. Kuvassa näkyy hyvin, kuinka usealle tasolle kustannuksia on lähdetty avaamaan huollon ja ylläpidon osalta. Huolto- ja ylläpitokustannukset voidaan jakaa seuraavasti: käyttökustannus, suunnitellut huollot, korjaus- ja uusimiskulut ja huollon toiminnalle aiheuttamien pysäytysten kulut. Huollon toiminnalle aiheuttamia pysäytyskuluja on edellä mainituista hankalin ennustaa tarkasti. Mikäli huolto ei onnistu sille annetussa ajassa, voivat pysäytyskulut nousta huomattavasti. Voidaankin todeta, että elinkaarilaskennassa kulut pystytään laskemaan hyvin perusteellisesti, mikäli prosessiin kuuluvat kustannukset ovat tiedossa.

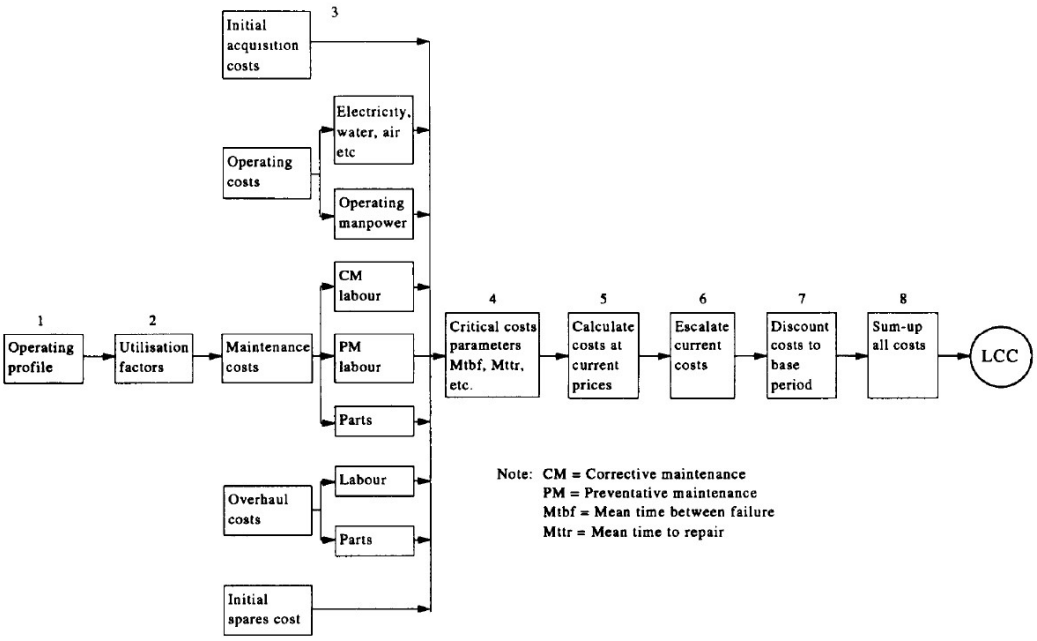


Figure 3 Kaufman's life cycle costing formulation

Kuva 2. Kaufmanin elinkaarilaskennan kaavio (Woodward. 1997 s.337)

Tärkeä osa elinkaarilaskennan kulkua on laskentamenetelmän valinta. Kuvassa 2 on esitetty tunnetuin ja käytetyin Kaufmanin elinkaarilaskennan kaavio, joka on kestänyt parhaiten ajansaatossa. Kuvassa esitetään hyvin se, miten laskenta tulisi rakentaa elinkaarilaskennalle. On tärkeä ottaa huomio työ ja materiaali erikseen, jotta voidaan tarkastella kustannusvaikutuksia paremmin mahdollisten taloudellisten muutosten myötä. (Woodward 1997, s.336.)

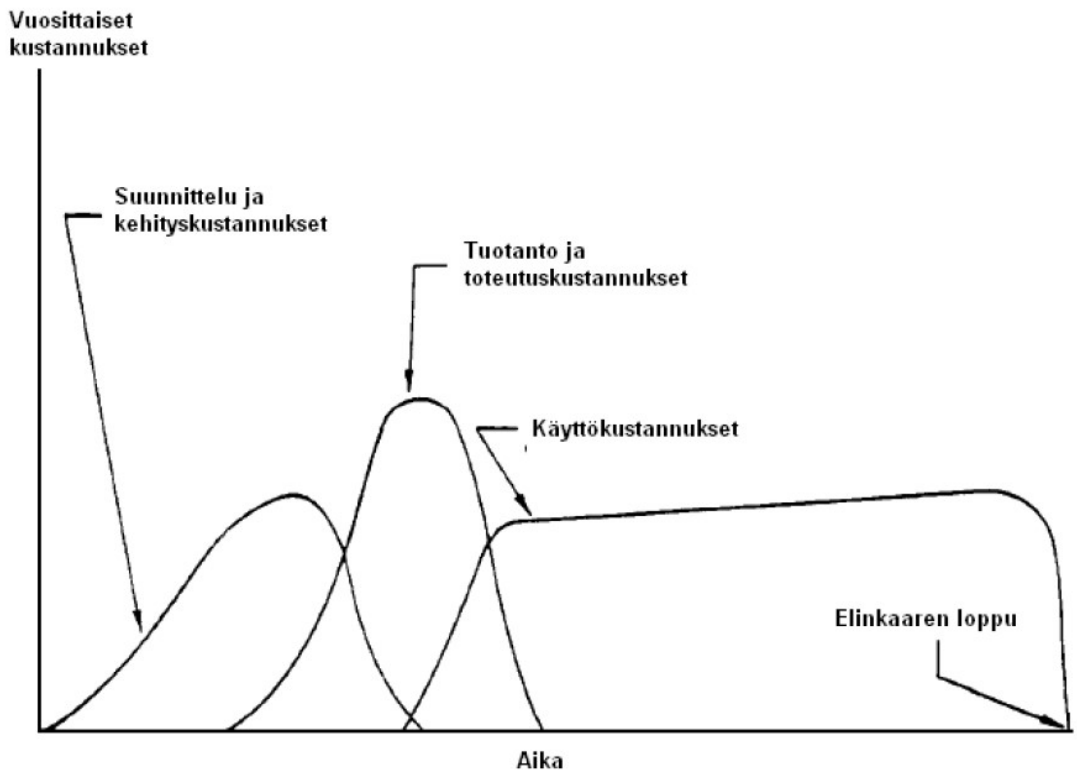
Oleellinen osa elinkaarikustannuslaskentaa on tiedon kerääminen ja sen hyödyntäminen. Elinkaarikustannuslaskennan tuloksia on hyvä verrata toteutuneeseen kustannukseen. Laskentaa tulisi kehittää sen mukaan, kun eroavaisuuksia laskentojen välillä ilmenee. Näin elinkaarilaskenta kehittyy, ja uusien investointien kohdalla osataan tehdä parempia ratkaisuja. Tässä piilee yksi elinkaarilaskennan vaikeuksista. Huollon ja ylläpidon kustannuksia on vaikea arvioida tarkasti, koska huollon tarpeet, pituudet ja määrä ovat vaikeasti ennustettavissa tarkasti. Tämän kustannuksen arviointiin parhaana tietona toimii vain tarpeeksi pitkä historia kuluista.

Kuvassa 3 on esitetty rakennuksen elinkaarikustannusten muodostuminen rakennuksen käyttöiälle. Elinkaarikustannuksilla tarkoitetaan kaikkia niitä kuluja, joita siihen kohdistuu sen eliniän aikana. Olennainen osa elinkaarilaskentaa on tarkastella elinkaarilaskennan

toteutumista rakennuksen käyttöiän aikana. Tätä tarkastelua helpottaa kehittynyt rakennusautomaatiojärjestelmä, joka palvelee rakennusta. Automaatiojärjestelmästä päästään seuraamaan sitä, toteutuuko suunnittelun antamat energiankulutustiedot rakennuksessa. Lisäksi automaatiojärjestelmä antaa mahdollisuuden optimoida rakennuksen energiankulutus- ja käyttökulut.

Elinkaarikustannusten kulku on yleisesti määritelty seuraavasti:

1. Suunnittelu
2. Tuotanto
3. Ylläpito ja huolto
4. Purkaminen/Tuhoaminen



Kuva 3. Kustannusten muodostuminen elinkaarenaikana (Mukaillen Woodward.1997, s.336)

3.3 Elinkaarilaskennan tulevaisuus

Elinkaarilaskennan merkitys on kasvanut kovaa vauhtia. Aikaisemmin rakentamisessa ollaan keskitytty lähinnä hankintakustannuksiin. Nykyään yritykset sekä yksityiset ja jul-

kiset sektorit ovat vähitellen heränneet ja haluavat rakentamisensa olevan kustannustehokasta ja ylläpitokustannusten olevan matalat. Ekologisuus on myös asia, johon tänä päivänä kiinnitetään entistä enemmän huomioita, koska yritykset haluavat luoda toiminnalleen vihreämpää kuvaa. Elinkaariarviointi eli LCA-laskenta onkin saanut paljon vahvempaa jalansijaa juuri tämän takia.

Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivissä 2014/24/EU määriteltiin kuntasektorin puolelle hankintasopimuksen tekoperusteeksi kokonaistaloudellisesti edullisimman tarjouksen perusteella. Tässä määrittävänä tekijänä on hankintahinta tai kustannusperusteet, joiden määrittelemiseen tulee käyttää kustannustehokkuusmallia kuten elinkaarikustannuksia. Toisaalta direktiivissä tarkennetaan, että hankintaviranomaisella on oikeus valita, miten hän määrittää elinkaarikustannusasiakirjojen painotuksen hankintaasiakirjoissa. Tämä kertoo, että myös julkista puolta kehotetaan tarkastelemaan hankintojaan elinkaarikustannusten perusteella.

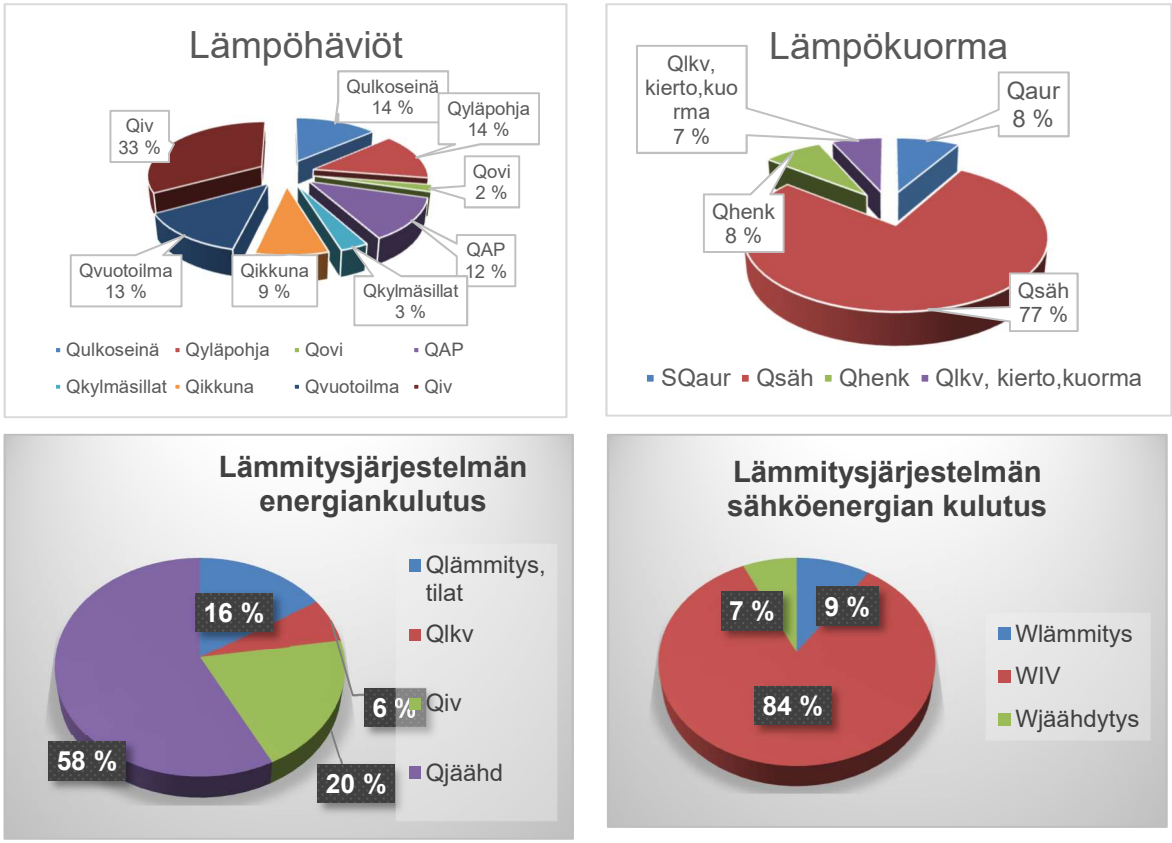
Oleellisin asia elinkaarilaskennan tulevaisuutta on kerätyn tiedon hyödyntäminen laskennassa. On olennaista, että rakennuksen elinkaaren ajalta toteutuneita kustannuksia seurataan ja verrataan laskelmiin, jotta laskentaa pystytään kehittämään. Elinkaarilaskennan tarkka ennustaminen on hankalaa, koska markkinat ja suhdanteet saattavat vaikuttaa siihen. Näin ollen ennustaminen voidaan kategorioida kolmeen tapaan, jotka ovat satunnainen, päättelevä ja vaistonvarainen. (Woodward 1997, s.342.)

4 Ohjelman rakenteen suunnittelu

4.1 Ohjelman sisältö

Rakennuksen elinkaaren määrittäminen ei ole yhtä yksinkertaista kuin esimerkiksi yksittäisen tuotteen elinkaaren määritys. Rakennuksen elinkaari käsittää monen eri järjestelmän elinkaarta, ja kaikki ne yhdessä muodostavat rakennuksen elinkaaren. Lehdolla ohjelman haluttiin käsittävän koko rakennukseen liittyvä elinkaari. Sen takia laskenta piti kehittää niin, että se huomioi mahdollisimman hyvin rakennuksen energiankulutuksen. Tämä johtuu siitä, että energiankulutus määrittää hyvin paljon rakennuksen ylläpitokuluja. Järjestelmävalinnoilla tilaaja pystyy itse toteamaan itsellensä säästävät ja kustan-

nustehokkaimmat järjestelmät. Sitä varten laskentaa piti kehittää niin, että siinä huomioitaisiin materiaaliratkaisujen ja järjestelmävalintojen muutoksen elinkaareen ja energiankulutukseen. Ohjelmalla oli tarkoitus pystyä osoittamaan merkittävimmät kohteet rakennuksen elinkaarikustannusten ja energiankulutuksen kannalta luvun, taulukon tai kaavion avulla. Kuvassa 4 on esitetty laskentaohjelman tekemiä kaavioita laskennasta.



Kuva 4. Ohjelman tekemät kaaviot laskennasta

Ohjelman piti olla visualisesti yksinkertainen, siisti ja helposti ymmärrettävä. Tämä oli ehtona sille, että kuka tahansa konsernissa, aina myyntimiehestä työpäällikköön, ymmärtäisi sen, mitä on ohjelmalla tekemässä. Ohjelman haluttiin olevan ulkoasultaan sellainen, että sitä voitiin esitellä asiakkaille. Kuvassa 5 on esitetty ohjelman syöttötieto sivun visuaalista ilmettä.

Kohde					
Paikkakunta	1	I-IV vyöhykkeet+kuva			
Elinikä	30	vuotta			
Kohteen käyttö		1=toimisto	<- Tähän lista liikerakennus,		
Kohde1:	2	2=varasto	<- Tähän lista liikerakennus,		
Kohde2:		3=majoitusrakennus			
Kohde3:		4=Liikuntahalli			
Kohde4:		5=liikerakennus			
		6=myymälä			
Pituus	60	m			
Leveys	42	m			
Pinta-ala	2520	m2			
Korkeus	9	m			
Kerroksia	2	kpl			
Tilojen jakautuminen	**Käsisyöttö**		**Ohjelman mitoittama**		
Kohde1:		m2	2132,7	m2	
Kohde2:		m2		m2	
Kohde3:		m2		m2	
Kohde4:		m2		m2	
Katsomo		m2	0	m2	
Ravintola/Ruokala/Kahvila		m2	58,6	m2	
Neuvotteluhuone		m2	0	m2	
Käytävät		m2	0	m2	
Toimisto		m2	88,2	m2	
Sosiaalitilat		m2	100,4	m2	
Tekniikkatilat		m2	80,136	m2	
Yhteensä		m2	2520,0	m2	
Käyttö-aika	14	h			
	7	vrk			
Sisäilmanlämpötila	21	C	<- Pitäisikö olla tilakohtainc		
Valintojen kautta saadaan U-arvo, lähtötiedoista pinta-alat					
-> ovet ja ikkunat arvio toteutuneista projekteista					
VALINNAT		kevyt=1, keskiraskas=2, raskas=3			
ULKOSEINÄT	1				
ALAPOHJA	1				
YLÄPOHJA	1				
IKKUNAT					
	Oma syöttö	Ohjelman mitoittamat			
Pohjoinen		27,54	m2	10	%
Koilinen			m2		%
Itä		68,85	m2	25	%
Kaakko			m2		%
Etelä		110,16	m2	40	%
Lounas			m2		%
Länsi		82,62	m2	30	%
Luode			m2		
OVET					
Perusovi (2,1m x 1,2m)	4	kpl			
Halliovi (4m x 4m)	1	kpl			

Kuva 5. Syöttösivun visuaalinen ilme

Ohjelman haluttiin näyttävän tilaajalle, millä sykleillä rakennuksen elinkaarella tulisi uusimis-, ylläpito- ja huoltokustannuksia. Osaksi ohjelmaa rakennettiin rakennuksen käyttöikäjana, jolla haluttiin havainnoida rakennuksen kustannusten sykliä rakennuksen elinkaaren ajalla.

Rakennuksen elinkaaren vaiheita lähdettiin rakentamaan rakennuksen käyttöiän ja kunnossapitojaksojen pohjalta. Tilaaja määrittelee rakennukselle tavoitteellisen käyttöiän. Ohjelman tarkoitus on antaa tilaajan tarkastella rakennuksen eri ratkaisuvaihtoehtoja

elinkaaritarkastelun avulla. Rakennuksen tavoitteellinen käyttöikä sisältää eri järjestelmien kunnossapitojaksot, käyttöiän ja tarkasteluvälin. Kunnossapitojaksolla tarkoittaa määrättyä kunnossapitotoimenpidettä, joka uusitaan tietyn määritellyn aikavälin jälkeen. Käyttöiällä tarkoitetaan aikaa, jolla laite tai rakennusosa saavuttaa sille asetetun tavoitteen taloudellisuuden ja kestävyyden suhteen. Toimivuuden kadottua, laite tai rakennusosa on kulunut loppuun ja se tulee korvata uudella. Tarkasteluvälillä tarkoitetaan aikaa, jonka kuluttua laitteen tai rakennusosan kunto ja toimivuus tulee tarkastella. Tarkasteluväli tulee määrittää sellaiseksi, että tarkastuskohde pysyy toimintakunnossa tarkastusvälisen ajan. Tarkasteluväli tulee säätää järjestelmä kohtaisesti sopivaksi, sen mukaan, miten laitevalmistaja on sen tuotteelleen määrittänyt tai mikä on koettu kokemuksen pohjalta hyväksi tarkasteluväliksi.

Eri järjestelmien tavoitteelliset käyttöiät ja kunnossapitojaksot määritettiin ohjelmaan LVI 01-40044 -kortin pohjalta. Huoltokustannukset ja uusimiskustannukset haettiin Lehdon kustannuslaskennalta. Purkukustannukset jätettiin pois ohjelman laskennasta. Ne tullaan todennäköisesti lisäämään ohjelman jatkokehityksen yhteydessä.

4.2 Ohjelman vaiheet

Ohjelmalaskenta rakennettiin kulkemaan seuraavien vaiheiden mukaan:

1. Syöttösivu
   Sisältää asiakkaan tarpeiden mukaisten tietojen syötön sekä Suomen rakennusmääräyskokoelman D5 mukaisen laskennan rakennuksen energiankulutukselle.

2. LCC-laskenta
   Sisältää eri järjestelmien elinkaarikustannusten laskennan.

3. Vaihto & Uusinta
   Sisältää rakennuksen eri järjestelmien ja laitteiden kunnostuspito- ja uusimiskustannukset niiden elinkaaren aikana.

4. Kustannukset
   Sisältää rakennuksen laitteiden ja järjestelmien investointikustannukset eriteltynä Lehdon oman litterointiperiaatteen mukaan.

5. Kustannuskäyrä
   Tiedon kokoamissivu. Tällä sivulla esitetään kaikki rakennuksen elinkaaren aikana vaikuttavat tekijät, jotka otetaan huomioon rakennuttajan näkökannalta. Esitys taulukoin, kuvaajin ja piirakka kaavioiden avulla. Ei pidä sisällään rakennuksen käyttäjän omia koulutus tarpeitaan kohteessa, lukuun ottamatta käytönopastusta, mikä pidetään ennen kohteen luovutusta käyttäjälle.

Nämä ovat laskennan kulun kannalta oleellisimmat sivut. Ohjelma sisältää lisäksi useita taulukko- ja tietuesivuja, joilta ohjelma hakee tietoja laskentaa varten. Niiden merkitys on ainoastaan olla laskennan toimivuuden tukena sekä laskennan päivittämismahdollisuutta mahdollisten rakentamismääräyskokoelma uudistumisten myötä.

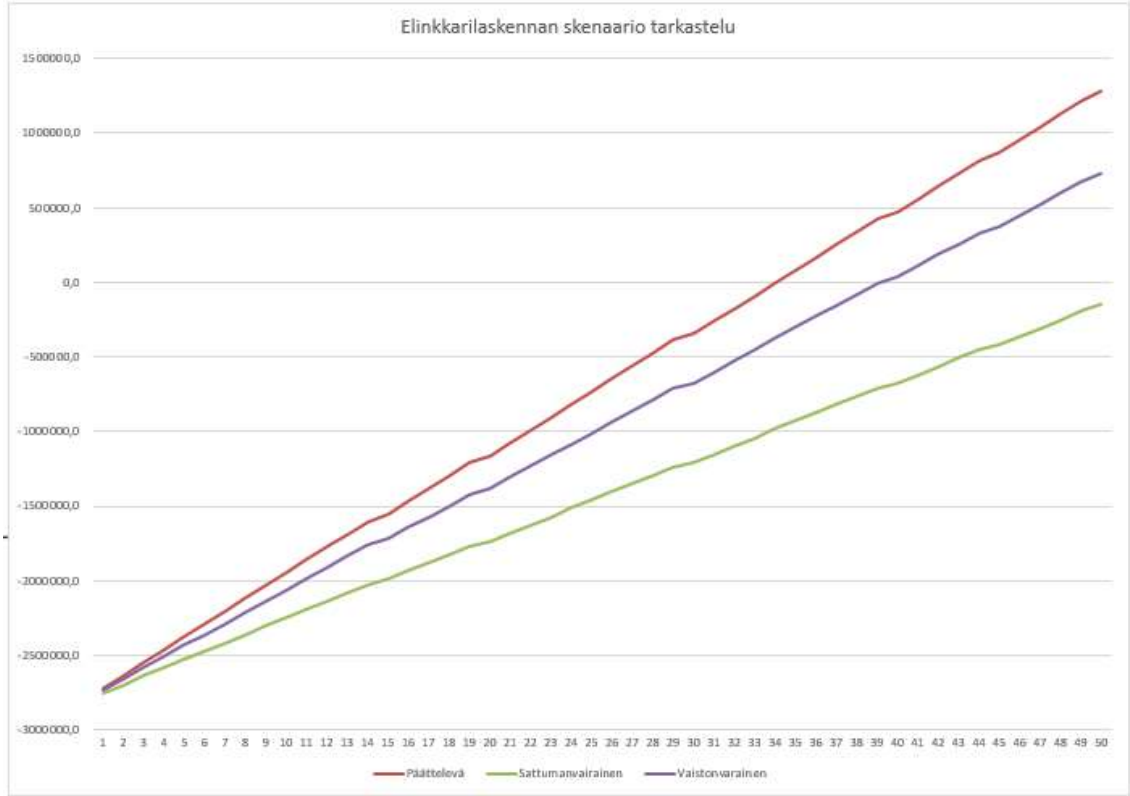
Ohjelman ensimmäiseksi pohjaksi rakennettiin tiedon syöttösivu, jonka pohjalta saatiin Suomen rakentamismääräyskokoelman D5 energialaskenta rakennettua laskettavalle kohteelle. Syöttösivun energianlaskentaa varten täydentävänä tietona käytettiin SRMK D1-, D2- ja D3-kokoelmia. Täyttösivulla annetaan rakennuksen koko, valitaan tilantarpeet rakennuksessa, määritetään käyttöaika ja valitaan kohteen kuorimateriaalit sekä talotekniikkajärjestelmät. Tältä pohjalta saadaan rakennuksen elinkaarilaskenta rakennettua. Ohjelma laskee valittujen järjestelmien perusteella kohteelle elinkaarikustannukset ja piirtää aikajanan, jolla on nähtävissä järjestelmien korjaus- ja uusimisvaiheet ja kustannukset. Näin tilaaja näkee arvion siitä, mitä kuluja rakennuksesta aiheutuu sen elinkaaren aikana. Tämä auttaa tilaajaa arvioimaan esimerkiksi tilojensa vuokria tai omia käyttökulujaan.

Ohjelma määrittää materiaali- ja järjestelmävalintojen pohjalta rakennuksen kustannukset, joka siirtää tiedon materiaalien elinkaarikustannusten laskentaa varten LCC-laskentasivulle. Tässä laskennassa huomioidaan kunnossapitojaksot ja käyttöikä. Näiden tietojen pohjalta saadaan rakennettua hankintakustannus sekä nykyarvo rakennukselle. Ohjelma vie nämä tiedot Kustannuskäyrä-sivulle.

Syöttösivun valintojen pohjalta määräytyy Vaihto & Uusinta-sivulle kunnossapito- ja uusimiskustannukset. Ohjelma määrittää näiden kustannusten jakauman rakennuksen elinkaarelle ja vie tiedot Kustannuskäyrä-sivulle.

Nämä tiedot rakentavat Kustannuskäyrä-sivulle rakennuksen kumulatiivisen kassavirtakuvaajan, jolla voidaan visualisoida tilaajalle rakennuksen elinkaarenkustannuksia. Kuvaajassa otetaan huomioon hankinta-, energian-, kunnossapito- ja käyttöikäkustannukset. Kuvaaja rakentuu tilaajaan valitseman rakennuksen eliniän mukaan. Kuvaajalla voidaan esitellä tilaajalle eri järjestelmien ja materiaalivalintojen vaikutusta rakennuksen elinkaarikustannuksiin. Lisäksi ohjelma rakentaa kuvaajan rakennuksen nykyarvon pohjalta sekä tekee piirakkakaavion rakennuksen energiankulutuksen jakautumisesta.

Ohjelman tulee antaa tilaajalle mahdollisimman hyvä käsitys elinkaarikustannuksista ja siksi laskennassa esitetään kolme eri ennustettua skenaariota, jotka saattavat tapahtua rakennuksen elinkaaren aikana. Nämä tavat ovat David Woodwardin esittämät satunnainen, päättelevä ja vaistonvarainen. Tällä tavalla tilaajalle ei luoda ainoastaan yhtä näkökantaa ennusteesta. Olennaista on antaa tilaajalle ymmärrys, että ohjelma tekee ennusteita, eikä anna täsmällistä totuutta elinkaarenkustannuksista. Kuvassa 6 on esitetty ohjelmaan tehty kuvaaja, jolla pystytään esittämään näiden kolmen eri skenaarion näkymät samalla aikajanalla.



Kuva 6. Elinkaarilaskennan skenaario tarkastelun kuvaaja

4.3 Ohjelman laskentaosuuden rakentaminen

Energiankulutuksen laskennan pohja rakennettiin Suomen rakentamismääräyskokoelma D5-luvun pohjalta. Lisäksi laskennan tukena käytettiin Suomen rakentamismääräyskokoelman D1-, D2- ja D3-lukuja. Ohjelman syöttötiedot, mitkä tilaaja määrittää tarpeensa mukaan, ovat määräytyneet D5-laskennan tarvitsemien tietojen pohjalta. Syöttötiedoissa valitaan kohteen koko, käyttöikä sekä kohteessa käytettävät kuorimateriaalit, rakenteet ja talotekniikkajärjestelmät. Ohjelma määrittää materiaalivalintojen perusteella rakenteiden lämpöhäviöt, kylmäsillat, vuotoilmanvaihdon, ilmanvaihdon, sekä hyödynnettävät lämpökuormat. Lisäksi ohjelma laskee ilmanvaihdon jäähdytysjärjestelmän energiankulutus kesä-, heinä- ja elokuulle. Jäähdytysenergianlaskennan perusteena on käytetty Ympäristöministeriön energiatodistuksen laadintaesimerkin tapaa laskea jäähdytysenergiantarve. Energiatodistuksen laadintaesimerkin pohjana on ympäristöministeriön asetuksen 176/2013 liitteen 1 kohta 3. Lisäksi ohjelmassa on mahdollista määrittää muu jäähdytystehon tarve. Tämä annetaan erillisellä syöttötiedolla laskentaan.

Syöttösivulla rakennuksen tilat on jaettu tuotantotilaan, sosiaalitiloihin, tekniikkatilaan ja käytäviin. Lisäksi kohteesta riippuen, tiloja määrittyisi rakennustyypistä riippuen, kuten esimerkiksi liikuntakeskuksessa määräytyy katsomo ja kahvio tai varastossa määräytyy toimistoa. Nämä lisätilat on määritetty tilatyypin oletustarpeiden mukaan. Kaikille tiloille tehtiin mahdollisuus antaa tarvittaessa omat valaistusvoimakkuudet. Muuten ohjelma määritti valaistusvoimakkuudet Suomen rakentamismääräyskokoelman D5 mukaan.

Syöttösivulle laitettiin mahdollisuus korjata tilojen kokoja käsisyötöllä. Tämä mahdollisti asiakkaan räätälöidä kohteen tilat omien tarpeidensa mukaan ja nähdä elinkaarivaikutukset valitsemillaan järjestelmillä. Lisäksi ohjelman tarkoitus oli havainnollistaa syöttösivulla esitetyillä prosenttiosuuksilla tilaajalle, miten paljon hän voisi saada tuotanto-, myymälä- tai varastotilaa rakennuksessa.

Ohjelma sisältää paljon pienempiä mitoituslaskentoja, joilla tiettyjä asioita pystytään määrittämään ja arvioimaan. Ohjelman yhtenä esimerkkiosana on kiinteistön mitoitusvirtaaman laskenta. Tätä mitoitusta varten on käytetty RT-korttia 94-10969 Pysyvien työpaikkojen puku-, pesu- ja wc-tilat. Tästä rakennettiin sosiaalitilojen vesikalusteiden määrityspohja. Näiden tietojen sekä muiden kohteen vesipisteiden tarpeiden pohjalta ohjelma laskee normivirtaamien summan. Normivirtaamien summan pohjalta ohjelma etsii

Excelin Haku-toiminnolla oikean mitoitusvirtaaman taulukosta, joka on rakennettu Suomen rakentamismääräyskokoelman D1:n, Liite 2, taulukko 2 pohjalta. Tämän ja lämmöntarpeen pohjalta pystytään määrittämään suuntaa antava lämmönsiirtimien tehot lämmitykselle ja käyttövedelle. Lämmönsiirtimen mitoituksen pohjalta saadaan määritettyä kaukolämpökohdetta varten liittymis- ja siirtomaksu.

Rakennuksen kuoren materiaalit päätettiin aluksi rajata niin, että valittavissa oli kullekin materiaalille kahdesta kolmeen eri tyyppiä. Materiaalit jaettiin niin, että valittavissa oli puu-, betoni- ja sandwich-elementti ulkoseinissä, Takuuelementin kattoelementti ja betoni yläpohjassa, ontelo, valubetoni ja puu alapohjassa. Talotekniikassa valittiin kolme eri lämmitysjärjestelmää, kolme eri jäähdytysjärjestelmää, kaksi eri vesikalustetyyppiä, kolme eri ilmanvaihtokonetyyppiä sekä mahdollisuus valita kohteeseen sprinkleri-, paloilmoitin- ja palovaroitinjärjestelmä. Lisäksi valittavana on valaistus kolmesta eri vaihtoehdosta ja valaistuksen ohjauksen periaate kolmesta eri vaihtoehdosta.

Valitun materiaalin perusteella ohjelma laskee johtumisen energiankulutuksenlaskentatiedot (U-arvo, g-arvo, F- kehä, F-varjostus ja F-verho) laskentaan. Ohjelma laskee tästä kylmäsiltojen energiankulutuksen valiten laskentaan oikeat rakenteiden väliset arvot. Vuotoilman energiankulutus lasketaan syötettyjen arvojen pohjalta D5:n laskennalla. Ilmanvaihdon energiankulutus saadaan, kun ohjelma laskee eri tiloille ilmatarpeet ja käyttäjä syöttää rakennuksen käyttöajat.

Ohjelma ottaa huomioon rakennuksen lämpökuormat, jotka aiheutuvat auringosta sekä sisäisistä lämpökuormista. Auringon lämpökuorma määräytyy syöttösivulla annettujen ikkunakokojen vaikutus ilmansuuntaa nähden. Sisäiset lämpökuormat perustuvat laitteiden ja valaistuksen osalta D5:n määrityksiin rakennustyyppien osalta. Henkilömäärä perustuu Suomen rakennusmääräyskokoelman D3 taulukko 4:n henkilötiheyteen eri rakennustyypeille neliötä kohden. Tässä on syöttösivulla mahdollisuus antaa manuaalisena syöttönä henkilömäärä, jos siitä on parempaa tietoa.

Ohjelma vie energiankulutustiedot elinkaarilaskentaan. Tämän pohjalta elinkaarilaskuri laskee vuotuisen sähkön- ja lämmöntarpeen sekä hinnat näille. Lisäksi ohjelma määrittää nykyarvot eri järjestelmille ja materiaaleille sekä laskee vuotuiset huoltokustannukset. Elinkaarilaskentasivu laskee automaattisesti kaikille eri järjestelmille ja niiden vaihtoehdoille elinkaaren. Toki eteenpäin laskennassa viedään vain syöttösivulla valittujen

järjestelmien arvoja. Tällä tavoin voidaan demonstroida nopeasti eri järjestelmä- ja materiaalivaihtoehtojen vaikutusta rakennuksen elinkaarikustannuksiin.

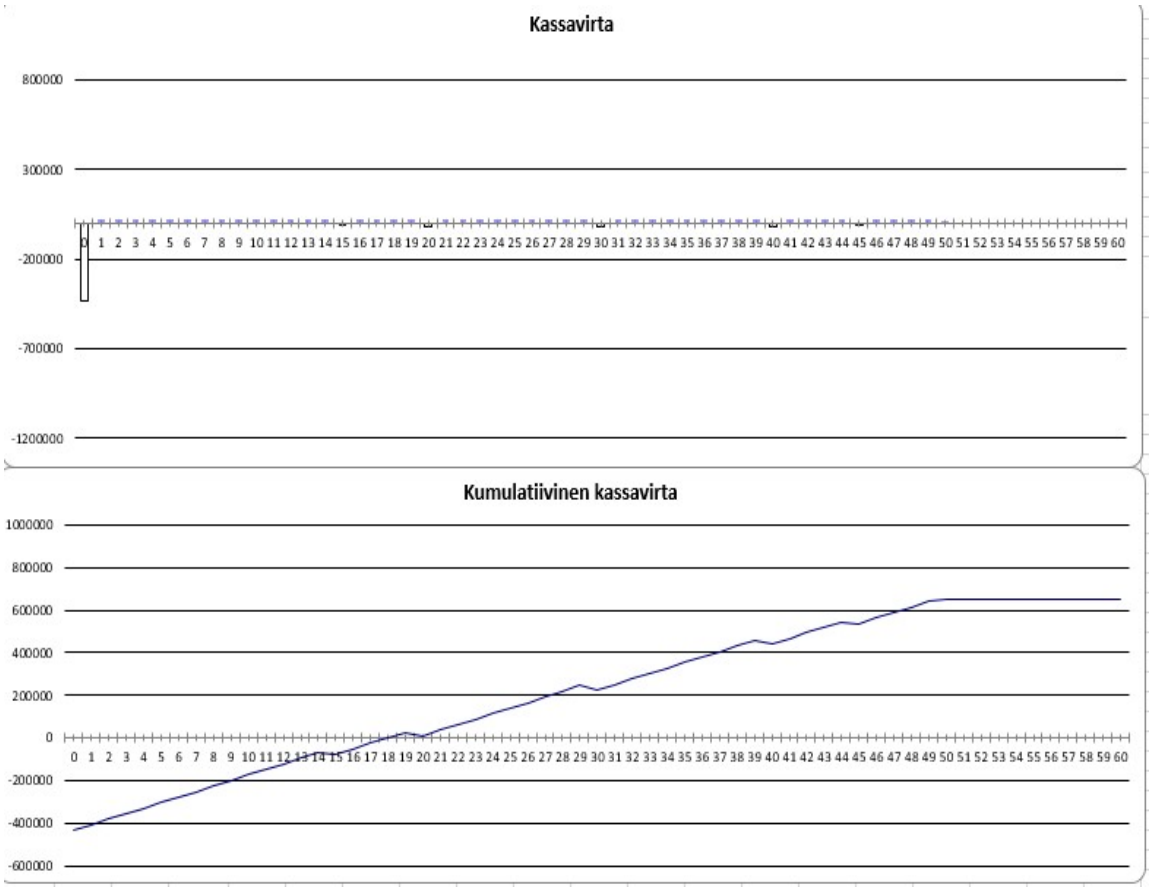
Ohjelma määrittää rakennustyypistä riippuen kunnossapito- ja uusintakustannuksen eri rakennuksen osille. LVI-kortista 01-40044 on haettu käyttöiät ja kunnossapitojaksot eri järjestelmistä ja ohjelma lisää tämän pohjalta kunnossapito- ja uusintakustannukset ohjelman kustannuskäyrälle.

Rakennuksen kustannuslaskennan pohjaksi rakennettiin Rakennusliike Lehdon käyttämä litteralistaus. Kustannuslaskentasivu pitää sisällään kaikki rakennuksen kustannukset aina suunnittelusta luovutukseen. Ohjelma siirtää syöttötietojen pohjalta lasketun rakennuksen materiaalit laskentaan ja sen pohjalta ohjelma laskee kustannukset rakennukselle. Syöttösivulla määritetään rakennuksen tyyppi ja tämän pohjalta kustannussivun arvot määräytyvät. Kullekin rakennustyypille on luotu kustannuspohjatiedot, jotka pohjautuvat Lehdon omaan kustannusdataan valmistuneista kohteista sekä eri työntekijöiden harjaantuneeseen kustannustietoon. Kustannustietoja varten haastattelin useita eri henkilöitä yrityksestämme. Haastateltavina oli työ-, hankinta-, laskenta- ja suunnittelupäällikkö sekä talotekniikka- ja toimitilajohtaja. Haastatteluja suoritettiin kattavasti, koska kustannustietopohjan ohjelmalle haluttiin olevan kattava. Tällä halutaan antaa asiakkaalle näkökantaa siitä, mitä hän saisi sijoittamallaan rahalla.

Eri järjestelmien elinkaarilaskelmia ohjaavat nimelliskorko, inflaatio ja energian nimellinen hinnannousu. Nämä arvot määritetään laskennan alussa ja niitä muuttamalla saadaan aikaiseksi eri skenaarioita, joiden mukaan elinkaarilaskennan nykyarvot muuttuvat. Ohjelman kustannuskäyräsivulla olevalla nykyarvo käyrällä voidaan tarkastella näiden arvojen muutoksen vaikutusta.

Ohjelman viimeinen sivu on kustannuskäyrä, jolla esitetään kaikki laskennan kokoamat tiedot. Sivulla pystyy tarkastelemaan kassavirta, kumulatiivista kassavirtaa ja nykyarvokäyrää, jossa on huomioitu kunnossapito- ja uusimiskustannukset. Kuvassa 7 on esitetty kuvaajat muutamista näistä käyristä. Kustannukset on esitetty taulukossa vain sille ajalle, kun rakennuksen elinikä on asetettu. Sivulla on myös esitetty, miten kustannukset jakautuvat rakennuksen elinkaarelle. Tässä ohjelma laskee yhteen niin sanotun rakennuksen investointikustannuksen, mikä pitää sisällään suunnittelun ja rakentamisen kus-

tannukset. Tontin tai sen muokkaamiseen liittyviä kustannuksia ohjelma ei laske mukaan. Tämä tietue pitää lisätä laskentaan erikseen syöttötietona, joka on esitetty kuvassa 8.



Kuva 7.Kassavirran ja kumulatiivisen kassavirran kuvaajat

Elinikä	30	vuotta	nettonykyarvo	-433266
Vuokratuotto per m2	10	€/m2	sisäinen korko (reaalinen)	4,8 %
Vuokratuotto	25200	€	nimellinen korko	6,8 %
Tontti ja siihen liittyvät kulut		€	inflaatioarvaus	2,0 %

Muutoskustannukset

Laskentakorko:	2 %							Yhteensä	
virtojen nykyarvot	-433705,1	0	50		389	0	0	-420666	
vuosi	hankinta-kustannus	jäännös-arvo	energia-kustannus-muutos	vuokratuotto	käyttö-, hoito ja huolto-kustannus-muutos	kunnossa-pito-kustannus-muutos	uusimis-kustannus-muutos	Kassa-virta yhteensä	Kumula-tiivinen kassa-virta
0	-433705,1							-433705,1	-433705
1		0	100	25200	778,4	0	0	26078,4	-407627
2		0	100	25200	778,4	0	0	26078,4	-381548
3		0	100	25200	778,4	0	0	26078,4	-355470
4		0	100	25200	778,4	0	0	26078,4	-329391
5		0	100	25200	778,4	0	0	26078,4	-303313
6		0	100	25200	778,4	0	0	26078,4	-277235
7		0	100	25200	778,4	0	0	26078,4	-251156
8		0	100	25200	778,4	0	0	26078,4	-225078
9		0	100	25200	778,4	0	0	26078,4	-198999
10		0	100	25200	778,4	-410	-10	25658,4	-173341
11		0	100	25200	778,4	0	0	26078,4	-147263
12		0	100	25200	778,4	0	0	26078,4	-121184
13		0	100	25200	778,4	0	0	26078,4	-95106
14		0	100	25200	778,4	0	0	26078,4	-69027
15		0	100	25200	778,4	-45	-35105	-9071,6	-78099
16		0	100	25200	778,4	0	0	26078,4	-52021
17		0	100	25200	778,4		0	26078,4	-25942
18		0	100	25200	778,4	0	0	26078,4	136,132
19		0	100	25200	778,4	0	0	26078,4	26214,5
20		0	100	25200	778,4	-870	-40870	-15661,6	10552,9
21		0	100	25200	778,4	0	0	26078,4	36631,3
22		0	100	25200	778,4	0	0	26078,4	62709,7
23		0	100	25200	778,4	0	0	26078,4	88788,1
24		0	100	25200	778,4	0	0	26078,4	114867
25		0	100	25200	778,4	0	0	26078,4	140945
26		0	100	25200	778,4	0	0	26078,4	167023
27		0	100	25200	778,4	0	0	26078,4	193102
28		0	100	25200	778,4	0	0	26078,4	219180
29		0	100	25200	778,4	0	0	26078,4	245259
30		-300	0	25200	778,4	-605	-46225	-21151,6	224107
31		0	0	25200	778,4	0	0	25978,4	250085
32		0	0	25200	778,4	0	0	25978,4	276064
33		0	0	25200	778,4	0	0	25978,4	302042
34		0	0	25200	778,4	0	0	25978,4	328021
35		0	0	25200	778,4	0	0	25978,4	353999
36		0	0	25200	778,4	0	0	25978,4	379977

Kuva 8. Kustannuskäyrän visuaalinen ilme

Ohjelmaa rakennettaessa päätettiin laskennasta jättää ulkopuolelle asiat, mitä ei varmuudella osata määrittää aina kuuluvan rakennukseen. Näitä olivat esimerkiksi erottimet, pumppaamot, muuntamot, maanrakennustyöt, sprinkleripumppaamot, yms. Lähinnä asiat, jotka koskevat sokkelin ulkopuolista aluetta ja asioita, jotka määräytyvät viranomaisen esityksen perusteella tai rakennuspaikan korkeusasemasta. Todettiin, että näitä järjestelmiä ja laitteita varten pystytään määrittelemään hinta erikseen ja lisäämään tahdottaessa mukaan kustannuksiin käsisyötöllä.

4.4 Ohjelman virhelaskennan estäminen

Ohjelman oletetaan olevan valmistuessaan vielä karkea ja tarvitsevansa lisäkehitystä, jotta laskurin tarkkuus paranisi. Virheiden estämiseksi ohjelman mahdollisia virhelaskentaa tai laskurin sekoamista lähdettiin testaamaan heti kehittelyvaiheessa. Voidakseen varmistaa toimivuus, tuli ohjelman syöttötietojen täyttöä testata ja kuvitteellisia arvoja syöttää laskentaan. Tätä kautta löytyi monia kehitysajatuksia ja uusia ideoita, jotka päätettiin jättää odottamaan myöhempään tuotekehitykseen. Tärkeää oli etsiä laskennassa ristiviittauksia, jotka saattaisivat aiheuttaa virheen laskentatuloksissa.

Seuraava vaihe oli varmistaa, että tiedot liikkuivat oikein eri välilehtien välillä laskennassa. Syöttösivun tietoja siirtyi järjestelmien elinkaarilaskurisivulle, kustannussivulle ja kustannuskäyräsivulle. Tätä virhelaskennan tarkastelua suoritettiin paljon pitkin ohjelman rakentamista ja testaamista. Tarkastelulla saatiin ohjelman laskennan virheitä poistettua ja laskentaa kehitettyä huomattavasti. Kehitystä tapahtui paljon sillä, että löydettiin uusia tapoja suorittaa laskentaa yksinkertaisemmin ja vältettiin pitkiä kaavoja ja näin ollen näppäilyvirheiden mahdollisuuksia.

Yksi oleellisimmista asioista virheiden estämisessä oli se, ettei laskentakaavoja kirjoitettu käsin ohjelmaan vaan laskentatiedot haettiin soluista. Näin voitiin varmistaa, että virheiden tapahtuessa ongelma löytyisi, joko kaavan muotoilusta tai syöttötiedosta. Tästä johtuen syöttötiedot esitettiin ohjelmassa mahdollisimman selkeillä termeillä, jotta tarvittaessa kuka tahansa pystyisi korjaamaan laskentaa ymmärtämällä, mitä on muuttamassa.

Ohjelman syöttösivulle tehtiin mahdollisuus antaa omia arvoja koskien rakennuksen tiloja. Tätä varten ohjelmaan piti kehittää kaava, joka toimisi varmasti, eikä sallisi ristiin syöttöä, mikä johtaisi ohjelman laskentavirheeseen. Laskentakaava muodostettiin JOS-funktiolla, joka laitettiin pyyhkimään ohjelman olettaman laskennan ja korvaamalla sen käsin syötetyllä arvolla. Lisäksi käsinsyöttösoluun laitettiin esto, ettei se antanut syöttää negatiivisia arvoja syöttöruutuun.

5 Ohjelman testaus

5.1 Ohjelman väärinlaskennan tarkastelu

Ohjelman väärinlaskentaa lähdettiin tarkastamaan kaavojen laskentaa tarkistaen. Energianlaskentaa lähdettiin tarkastelemaan ympäristöministeriön Energiatodistuksen laadintaesimerkkiä ja laskentaan vertailemalla. Kohteesta annettiin samat tiedot ja laskentatuloksia lähdettiin vertailemaan.

Tilojen lämmitysenergiantarpeessa eroa oli 2,6 % ja lämpökuormassa eroa oli 1,4 %. Tässä laskennassa kuitenkin huomattiin virhe. Seinäpinnoista tuli liikaa häviöitä ja ilmanvaihdosta puolestaan liian vähän. Tarkemmalla tarkastelulla selvisi, että ohjelman seinänä pinta-alan mitoitus kerrostalo tyyppiseen rakennukseen ei ollut täysin täsmällinen. Tämän johdosta ohjelmaan rakennettiin uusi määrittely tapa kerrostalolle, jolla päästiin 3,8 % tarkkuuteen laskennassa. Ilmanvaihdon laskentatavassa oli eroa ja siksi ilmanvaihdolle syntyi laskentatarkkuudessa huomattavaa eroa. Tätä tarkkuutta päätettiin työpaikkani työnohjaajan opastuksella kehittään vasta tulevaisuudessa, joten tätä ei lähdetty korjaamaan tässä vaiheessa. Ero ilmanvaihdon lämmitysenergiantavassa oli 28,8 %. Syynä tässä erossa oli ilmanvaihtolaitoksen keskimääräisen viikoittaisen käyntiaikasuhteen laskentatavassa.

Lämmityksen energiankulutuksessa eroa oli jäähdytyksessä 1,78 % ja lämpimän käyttöveden energiankulutuksessa 0,33 %. Sähköenergiankulutuksessa ero oli ainoastaan ilmanvaihdon laskennassa.

5.2 Ohjelman virheiden etsiminen

Tuloksia vertaillessa huomattiin, että lämpökuormien arvot eivät täysin kohdanneet. Laskinta tutkittaessa huomattiin, että kaavassa oli virhe, ja se määritti koko ajan myymälänkuormien pohjalta. Kaavan virhe korjattiin ja laskennan tulos saatiin täsmäämään. Toisena tekijänä kuormien laskennan virheessä oli henkilöiden lämpökuorman laskennassa. Kaavaan oli eksynyt lyöntivirhe ja se korjaamalla tulokset korjaantuivat.

5.3 Tulosten analysointi

Ohjelman D5 laskennan tulos on hyvin tarkka verrattaessa ympäristöministeriön laskentaan. Tulokset osoittivat ohjelman pääsevän laskennassa hyvin lähelle oikeaa laskentaa. Näin ollen todettiin ohjelman suorittavan D5 laskennan tarpeeksi lähelle totuutta ja toivotun virhemarginaalin sisällä. Kaiken kaikkiaan laskentatarkkuudeksi saatiin 2,5 % vertailulaskennasta.

Samalla todettiin, että ohjelmaan tuli rakentaa selite tuloksiin, jossa kerrottiin asiat jotka ohjelma ottaa huomioon laskennassa ja mitä ei. Tämä sisältö koottiin ja tullaan lisäämään ohjelmaan, kun sen visuaalista ilmettä lähdetään kehittämään jatkokehityksessä.

6 Ohjelman tulosten vertailu LCC-laskennan toteutuneisiin tuloksiin

6.1 Testaus olemassa oleville kohteille

Ohjelmaa lähdettiin testaamaan kahteen toteutettuun kohteeseen. Kohteet valittiin sen perusteella, miten hyvin ne sopivat ohjelman laskentamallin. Kohteiden tulokset tarkasteltiin ohjelman näkökannalta, jättäen siis pois laskuista kaiken sokkelin ulkopuolelta. Kohteina olivat varasto ja myymälä. Testausta lähdettiin suorittamaan syöttämällä kohteen tiedot ohjelmaan ja sen jälkeen vertaamalla ohjelman arvoja laskettuihin arvoihin.
Ensimmäinen vertailukohde oli noin 20 000 m²:n varastohalli. Varastohalli sijaitsee Vantaalla ja sen tilat jakautuivat varastoon ja kahdessa kerroksessa oleviin toimistotiloihin. Tilat jakautuivat seuraavasti: 19 000 m² varastohallia, 400 m² toimistoa, 200 m² sosiaali- ja taukotilaa, 150 m² kokoonpanotilaa, käytäviä ja portaita 50 m² ja tekniikkatilaa 200 m². Kohde on noin 15 metriä korkea ja työllistää noin 50 henkeä. Varasto toimii 13 tuntia vuorokaudesta ja viitenä päivänä viikossa. Energiaselvityksen kohteeseen oli tehnyt ulkopuolinen tilaajan valitsema konsulttiyhtiö.

Toisena kohteena oli noin 3 900 m²:n myymälä Vantaalla. Myymäläntilat jakautuivat kahteen kerrokseen ja kohde rakennettiin olemassa olevan rakennuksen kylkeen. Näin ollen esimerkiksi lämmönsiirrin löytyi olemassa olevasta kiinteistöstä, joten ainoaksi tehtäväksi jäi siirtimen päivittäminen. Tilat jakautuivat seuraavasti: 3 680 m² myymälätilaa, 100 m² varastoa, 80 m² sosiaali- ja taukotilaa, käytäviä ja portaita 20 m² ja tekniikkatilaa

60 m². Kohde on noin 6 metriä korkea ja työllistää noin 20 henkeä. Myymälä toimii 13 tuntia vuorokaudesta ja kuutena päivänä viikossa. Energiaselvityksen kohteeseen oli tehnyt ulkopuolinen tilaajan valitsema konsulttiyhtiö.

6.2 Testaus tuotannossa oleville kohteille

Toisena vaiheena testauksessa oli testata ohjelmaa tuotannossa oleviin kohteisiin. Tässä ensimmäisenä kohteena oli noin 7 100 m²:n varastohalli Vantaalta. Varaston tilat jakautuivat varastoon ja kahdessa kerroksessa olevaan toimistotiloihin. Tilat jakautuivat seuraavasti: 6 500 m² varastohallia, 200 m² toimistoa, 150 m² sosiaali- ja taukotilaa, käytäviä ja portaita 50 m² ja tekniikkatilaa 200 m². Kohde on noin 10 metriä korkea ja työllistää noin 40 henkeä. Varasto toimii 16 tuntia vuorokaudesta ja viitenä päivänä viikossa.

Toisena kohteena oli noin 12 000 m²:n myymälä Nokialla. Myymälän tilat oli jaettu kahteen kerrokseen, josta toisessa kerroksessa oli hallinnon ja tekniikan tiloja. Tilat jakautuivat seuraavasti: 10 500m² myymälätilaa, 700 m² varastoa, 400 m² sosiaali- ja taukotilaa, käytäviä ja portaita 50 m² ja tekniikkatilaa 400 m². Kohde on noin 10 metriä korkea ja työllistää noin 20 henkeä. Myymälä toimii 16 tuntia vuorokaudesta ja seitsemänä päivänä viikossa.

6.3 Tulosten analysointi

Ensimmäisessä vertailussa toteutuneeseen kohteeseen varasto oltiin rakennukselle saatu lämmityksen luonnosvaiheen kulutukseksi 2,33 kWh/m³. Laskentaohjelmalla päästiin tulokseen 2,43 kWh/m³. Tällöin laskennan virhemarginaali oli 4,29 %. Sähkölle luonnosvaiheen kulutukseksi oltiin saatu 3,79 kWh/m³. Laskentaohjelmalla päästiin tulokseen 3,66 kWh/m³. Tällöin virhemarginaaliksi jäi 3,43 %. Datakeskuksen luonnosvaiheen jäähdytyksen kulutukseksi oltiin laskettu 216,25 MWh/a. Laskentaohjelmalla päästiin tulokseen 219 MWh/a, virhemarginaalin ollessa näin ollen 1,27 %. Elinkaarilaskennassa tulokset erosivat investointikustannuksissa 125 847 €. Näin ollen ohjelman virhemarginaaliksi jäi 1,0 %, kun huomioitiin laskennasta ainoastaan ne asiat, mitkä ohjelman laskenta sisällytti. Huolto- ja ylläpitokustannuksissa eroa vuotuisissa kustannuksissa oli 253 €, jolloin laskennan virhe oli 4,78 %. Kunnossapitojakson ja uusimiskustannusten kuluihin ei päästy kiinni, koska rakennuksessa ei näitä toimenpiteitä oltu jouduttu vielä suorittamaan.

Toisessa vertailussa toteutuneeseen kohteeseen myymälä rakennukselle oltiin tehty energiatodistus, mistä vertailtiin ostoenergiankulutusta. Lämmityksen kulutukseksi oli selvityksessä saatu 87841 kWh/a. Laskentaohjelmalla päästiin tulokseen 86754 kWh/a. Tällöin laskennan virhemarginaali oli 1,2 %. Sähkölle kulutukseksi oli selvityksessä saatu 403556 kWh/a. Laskentaohjelmalla päästiin tulokseen 396944 kWh/a. Tällöin virhemarginaaliksi jäi 1,6 %. Selvityksessä rakennukselle oltiin saatu E-luvuksi 196 $kWh_E/(m^2\ a)$. Laskennalla rakennuksen E-luvuksi saatiin 192 $kWh_E/(m^2\ a)$. Tässä virhemarginaali on 2,0 %. Elinkaarilaskennassa tulokset erosivat investointikustannuksissa 62 189 €. Näin ollen ohjelman virhemarginaaliksi jäi 1,7 %, kun huomioitiin laskennasta ainoastaan ne asiat, mitkä ohjelma laskenta sisällytti. Huolto ja ylläpitokustannuksissa eroa vuotuisissa kustannuksissa oli 138 €, jolloin laskennan virhe oli 6,30 %. Kunnossapitojakson ja uusimiskustannusten kuluihin ei päästy kiinni, koska rakennuksessa ei näitä toimenpiteitä oltu jouduttu vielä suorittamaan.

Ensimmäisessä vertailussa tuotannossa olevaan kohteeseen, varasto oltiin rakennukselle saatu lämmityksen luonnosvaiheen kulutukseksi 3,01 kWh/m^3. Laskentaohjelmalla päästiin tulokseen 2,89 kWh/m^3. Tällöin laskennan virhemarginaali oli 3,98 %. Sähkölle luonnosvaiheen kulutukseksi oltiin saatu 4,58 kWh/m^3. Laskentaohjelmalla päästiin tulokseen 4,46 kWh/m3. Tällöin virhemarginaaliksi jäi 2,62 %. Datakeskuksen luonnosvaiheen jäähdytyksen kulutukseksi oltiin laskettu 225,8 MWh/a. Laskentaohjelmalla päästiin tulokseen 219 MWh/a, virhemarginaalin ollessa näin ollen 3,0 %. Elinkaarilaskennassa tulokset erosivat investointikustannuksissa 58 452 €. Näin ollen ohjelman virhemarginaaliksi jäi 1,0 %, kun huomioitiin laskennasta ainoastaan ne asiat, mitkä ohjelma laskenta sisällytti. Arvioiduissa huolto ja ylläpitokustannuksissa eroa vuotuisissa kustannuksissa oli 147 €, jolloin laskennan virhe oli 4,50 %. Arvioidut kunnossapitojakson ja uusimiskustannusten kulut erosivat laskennasta elinkaaren ajalla 1560 €. Näin ollen virhemarginaali oli 0,5 %.

Toisessa vertailussa tuotannossa olevaan kohteeseen myymälä oltiin rakennukselle saatu lämmityksen luonnosvaiheen kulutukseksi 7,38 kWh/m^3. Laskentaohjelmalla päästiin tulokseen 7,25 kWh/m^3. Tällöin laskennan virhemarginaali oli 1,76 %. Sähkölle luonnosvaiheen kulutukseksi oltiin saatu 12,87 kWh/m^3. Laskentaohjelmalla päästiin tulokseen 12,56 kWh/m3. Tällöin virhemarginaaliksi jäi 2,41 %. Datakeskuksen luonnosvaiheen jäähdytyksen kulutukseksi oltiin laskettu 115,85 MWh/a. Laskentaohjelmalla pääs-

tiin tulokseen 109,5 MWh/a, virhemarginaalin ollessa näin ollen 5,48 %. Elinkaarilaskennassa tulokset erosivat investointikustannuksissa 68 128 €. Näin ollen ohjelman virhemarginaaliksi jäi 1,0 %, kun huomioitiin laskennasta ainoastaan ne asiat, jotka ohjelman laskenta sisällytti. Arvioiduissa huolto- ja ylläpitokustannuksissa eroa vuotuisissa kustannuksissa oli 113 €, jolloin laskennan virhe oli 4,0 %. Arvioidut kunnossapitojakson ja uusimiskustannusten kulut erosivat laskennasta elinkaaren ajalla 2740 €. Näin ollen virhemarginaali oli 0,8 %.

7 Yhteenveto

Ohjelman rakentaminen oli pitkä ja mielenkiintoinen projekti, joka tuotti tekijälleen paljon silmiä avaavia havaintoja. Jotta ohjelman tarkkuutta saadaan kehitettyä ja parannettua, tulee toteutuneiden kohteiden ylläpito- ja huoltokustannuksia seurata ja tallentaa. Näin ohjelman ennustamista voidaan parantaa yleisellä tasolla ja eri skenaarioita varten.

Ohjelma saatiin valmiiksi palvelemaan pelkästään liike- ja toimitilayksikköä. Ohjelmassa on kuitenkin paljon tarkentamisen ja kehittämisen mahdollisuuksia sekä tarpeita. Kehittämisen tarpeita huomattiin paljon jo ohjelman rakennusvaiheessa, mutta ne päätettiin viedä ohjelmaan myöhemmin. Lehdon puolelta todettiin, että ohjelma oli tärkeämpi saada omaan sisäiseen käyttöön ja testaukseen. Kehitystarpeet todettiin olevan vielä tässä vaiheessa vähemmän merkittäviä laskennan lopputuloksen kannalta ja niiden kehitykseen päätettiin varata resursseja tulevaisuudessa. Tulevaisuudessa ohjelmaa haluttiin kehittää lisää, jotta sillä pystytään tulevaisuudessa laskemaan paljon vaativampia ja monimuotoisempia kohteita, kuten isoja ostoskeskuksia. Lisäksi muilta konsernin osastoilta on ilmennyt kiinnostusta ohjelmaa kohtaan, joten ohjelmaa tullaan varmasti rakentamaan eri toimialojen tarpeita varten.

Yhtenä uutena kehityskohteena ohjelmaan olisi erillinen elinkaarilaskinohjelman sisällä huolto-, ylläpito- ja uusimiskustannuksille. Tässä tarkennettaisiin tämän osa-alueen kustannusten koostumusta ja tässä voitaisiin vertailla hintaeroa sille, jos on oma huoltomies tai oma huoltoyhtiö. Lisäksi tarkasteltaisiin koulutuksen kustannuksia ja kannattavuutta. Tähän idea saatiin teollisuuden elinkaarilaskennasta mallista.

Ohjelmalle on ollut paljon kysyntää Lehdolla. Useat projektipäälliköt ovat pitkin vuotta esittäneet tarvetta vastaavanlaiselle ohjelmalle ja nyt he saavat pyyntöihinsä vastineen tämä ohjelman avulla. Tulevaisuudessa on mielenkiintoista seurata, miten tarkasti ohjelma määrittää kohteita perustuen toteumaan. Ohjelma tulee varmasti muuttumaan ja kehittymään tarpeen mukaan. Oleellista on päivittää ohjelman kustannusdataa ajansaatossa.

Oleellinen osa ohjelmaa onkin sen modulaarisuus ja muunneltavuus. Ohjelmaa pystytään pienillä säädöillä muuntelemaan vastaamaan haluttua tilaa ja käyttötarkoitusta. Ohjelmassa pystytään erottelemaan ja yksilöimään tarvittaessa elinkaarilaskennan osuuksia. Tätä ohjelman osuutta pyritään tulevaisuudessa terävöittämään entisestään.

Ohjelman laskenta vastasi työlle lähtökohdaksi asetettua tavoitetta. Ohjelman piti olla suuntaa antava ja sillä piti päästä kiinni mahdollisimman hyvin todelliseen hintaan. Tarkkuudessa päästiin pääosin alle 5,0 %:n virhemarginaalilla. Työn edetessä työkalu kehittyi ja alkoi kasvaa huomattavasti suuremmaksi, kuin lähtökohtaisesti oli tarkoitus. Työpaikan ohjaajan kanssa todettiin, että tällä ohjelmalla päästään hyvin etenemään, mutta ohjelmaa halutaan vielä kehittää ja parannella, jotta sitä voitaisiin käyttää suuremmalla mittakaavalla. Työkalu on vielä kuitenkin beta-vaiheessa ja vaatii paljon testausta ennen virallista käyttöönottoa. Lehdon kustannuslaskentaporukka tulee ottamaan työkalun seuraavaksi käyttöönsä ja testaamaan sekä täydentämään sitä. Tästä testauksesta saadaan varmasti tärkeää palautetta toimivuuden ja laskennan parantamiseksi.

Työssä ja sen tavoitteissa onnistuttiin halutulla tavalla ja nyt ohjelmaa päästään testaamaan suuremmalla skaalalla ja sitä kautta ohjelma tulee kehittymään. Ohjelmalla tulee olemaan paljon merkitystä ja hyötyä tulevaisuudessa Lehdossa.

Lähteet

1 Woodward, David G 1997. Life cycle costing, theory, information acquisition and application. International journal of Project management, Vol 15, No.6, pp 335-344.

2 Okano, Kenji 2001. Life cycle costing- An approach to life cycle cost management: A consideration from historical development. Asia Pacific Management Review 6(3), 317-341

3 Fabrycky and Blanchard 1991. Life-Cycle Cost and Economic Analysis. Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ.

4 Bruce, Tytti 2016. Elinkaariarvioinnin (LCA) vaiheet, Energia-, elinkaari- ja ympäristölaskelmat luentomateriaali. Bionova Oy.

5 Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2014/24/EU

6 Ympäristöministeriö 2014. Energiatodistuksen laadintaesimerkki 2006 rakennettu toimistotalo.

7 Overview: What is life cycle costing? 2011. Verkkodokumentti. WERF, Water Research Foundation, GWRC, GHD Consulting Inc. http://simple.werf.org/simple/media/LCCT/index.html Luettu 12.1.2017.

Liite 1

Ohjelman rakenne

Kohde				
Paikkakunta	1	I-IV vyöhykkeet+kuva		
Elinikä	30	vuotta		
Kohteen käyttö		1=toimisto		
Kohde1:	5	2=varasto		
Kohde2:		3=majoitusrakennus		
Kohde3:		4=Liikuntahalli		
		5=liikerakennus		
Pituus	0	m		
Leveys	0	m		
Pinta-ala	0	m2		
Kerros pinta-ala	#JAKO/0!	m2		
Korkeus	0	m		
Kerroksia	0	kpl		
Henkilömäärä	0	hlö		
Tilojen jakautuminen	**Käsisyöttö**		**Ohjelman mitoittama**	
Kohde1:		m2	0	m2
Kohde2:		m2		m2
Kohde3:		m2		m2
Kohde4:		m2		m2
Katsomo		m2	0	m2
Ravintola/Ruokala/Kahvila		m2	0,0	m2
Neuvotteluhuone		m2	0	m2
Käytävät		m2	0	m2
Toimisto		m2	0	m2
Sosiaalitilat		m2	0,0	m2
Varasto		m2	0,0	m2
Tekniikkatilat		m2	0	m2
Yhteensä	0	m2	0,0	m2
Käyttö-aika	0	h		
	0	vrk		
Sisäilmanlämpötila	21	C		

IKKUNAT						
	Oma syöttö	Ohjelman mitoittamat				
Pohjoinen	0	0	m2	10	%	0
Koilinen			m2		%	0
Itä	0	0	m2	25	%	0
Kaakko			m2		%	0
Etelä	0	0	m2	40	%	0
Lounas			m2		%	0
Länsi	0	0	m2	30	%	0
Luode			m2			0
						0
OVET						
Perusovi (2,1m x 1,2m)	21	kpl				
Halliovi (4m x 4m)	0	kpl				
TALOTEKNIIKKA JÄRJESTELMÄT						
Lämmitys		KL		PATTERILÄMMITYS		
Vesijohdot ja viemärit		PERUS				
Ilmanvaihto		KIEKKO				
Jäähdytys		VRF				
Datatila, jäähdytys		12,5	kW			
Automaatio		FIDELIX				
Sprinkleri		☑	Vesilähde riittävä			
Paloilmoitinjärjestelmä		☐				
Palovaroitinjärjestelmä		☐				
Valaistus		LED			HUONEKYTKIN	

		LÄMMITYS		
		lämmitysjärjestelmät		
		KL	Maalämpö	Öljylämmitys
Elinkaarijakson pituus	v	30	30	30
Investointikustannukset	€	10000	50000	10000
Vuotuinen lämmöntarve	MWh/v	660	660	660
Vuosimaksu	€/v	40000	0	0
Lämpöenergian hinta	€/MWh	68	0	92
Vuotuinen lämpökustannus	€/v	84910	0	60760
Vuotuinen sähköntarve	MWh/v	0	20,7	20,7
Sähköenergian hinta	€/MWh	35	35	35
Vuotuinen sähkökustannus	€/v	0	726	726
Nimelliskorko	%	3,140353128	3,140353128	3,140353128
Inflaatio	%	2	2	2
Energian nimellinen hinnan nousu	%	1	1	1
Reaalikorko	%	1,12	1,12	1,12
Eskalaatio	%	0,99	0,99	0,99
Jaksollisten maksujen diskonttauskerroin		25,37	25,37	25,37
Jaksollisten energiamaksujen diskonttauskerroin		25,85	25,85	25,85
Huolto- ym. kustannukset	€/v	100	500	100
Huoltokustannusten nykyarvo	€	2537	12684	2537
Lämpökustannusten nykyarvo	€	2154005	0	1541375
Sähkökustannusten nykyarvo	€	0	18410	18410
LCC (nykyarvo)		2166541	81094	1572322

KOODI	RAKENNUSOSA	Tavoitteellinen käyttöikä (R=rakennuksen käyttöikä)		Ohjeellinen hinta-arvio		Ohjeellinen kunnossapitojakso		Ohjeellinen hinta-arvio	
D	**ALUERAKENTEET**								
D22	Aluekansalit, salaojitetut	50	vuotta	0	€				
D2.3	Avo-ojat	30	vuotta	0	€	5	vuotta	0	€
D61	Nurmikot	30	vuotta	0	€	10	vuotta	0	€
D62	Puut	50	vuotta	0	€	5	vuotta	0	€
D63	Pensaat	20	vuotta	0	€	5	vuotta	0	€
D64	Muut kasvit	10	vuotta	0	€	5	vuotta	0	€
D71	Bitumisot kulutuskerrokset	30	vuotta	0	€	10	vuotta	0	€
D72.1	Sorapäällysteet	30	vuotta	0	€	5	vuotta	0	€
D72.2	Laatoitukset, betoni	30	vuotta	0	€	10	vuotta	0	€
D73	Reunatuet ja -kourut	30	vuotta	0	€	10	vuotta	0	€
D81	Aidat, puu	20	vuotta	0	€	5	vuotta	0	€
D82	Talavarusteet	30	vuotta	0	€	10	vuotta	0	€
D83	Opastukset	20	vuotta	0	€	10	vuotta	0	€
D84	Urheilu- ja leikkikenttäkenttävarusteet	20	vuotta	0	€	5	vuotta	0	€
D85	Jätehuoltavarusteet	20	vuotta	0	€	5	vuotta	0	€
D86	Liikennealueiden varusteet	20	vuotta	0	€	10	vuotta	0	€
D9.1	Tukimuurit	50	vuotta	0	€	20	vuotta	0	€
D9.2	Altaat	50	vuotta	0	€	20	vuotta	0	€
D9.3	Ajaluiskat	50	vuotta	0	€	20	vuotta	0	€
D9.4	Portaat	50	vuotta	0	€	20	vuotta	0	€
D9.5	Katokset	50	vuotta	0	€	10	vuotta	0	€
D9.6	Varastorakennukset	50	vuotta	0	€	10	vuotta	0	€
D9.7	Jätesuojat	50	vuotta	0	€	10	vuotta	0	€
E	**POHJARAKENTEET**								
E43.1	Salaojaputkistot kaivoineen	>50	vuotta	0	€	10	vuotta	0	€
E43.2	Salaojaverkoston padotusventtiilit	>50	vuotta	0	€	10	vuotta	0	€
E43.3	Salaojavesien pumppaamot	20	vuotta	0	€	5	vuotta	0	€
F	**RAKENNUSTEKNIIKKA**								
F12	Perusmuurit	R	vuotta	0	€				

Elinikä	30	vuotta	nettonykyarvo	-433266	
Vuokratuotto per m2	10	€/m2	sisäinen korko (reaalinen)	4,8	%
Vuokratuotto	25200	€	nimellinen korko	6,8	%
Tontti ja siihen liittyvät kulut			inflaatioarvaus	2,0	%

Muutoskustannukset

Laskentakorko:		2	%					Yhteensä	
virtojen nykyarvot	-433705,1	0	50		389	0	0	-420666	
vuosi	hankinta-kustannus	jäännös-arvo	energia-kustannus-muutos	vuokratuotto	käyttö-, hoito ja huolto-kustannus-muutos	kunnossa-pito-kustannus-muutos	uusimis-kustannus-muutos	Kassa-virta yhteensä	Kumula-tiivinen kassa-virta
0	-433705,1							-433705,1	-433705
1		0	100	25200	778,4	0	0	26078,4	-407627
2		0	100	25200	778,4	0	0	26078,4	-381548
3		0	100	25200	778,4	0	0	26078,4	-355470
4		0	100	25200	778,4	0	0	26078,4	-329391
5		0	100	25200	778,4	0	0	26078,4	-303313
6		0	100	25200	778,4	0	0	26078,4	-277235
7		0	100	25200	778,4	0	0	26078,4	-251156
8		0	100	25200	778,4	0	0	26078,4	-225078
9		0	100	25200	778,4	0	0	26078,4	-198999
10		0	100	25200	778,4	-410	-10	25658,4	-173341
11		0	100	25200	778,4	0	0	26078,4	-147263
12		0	100	25200	778,4	0	0	26078,4	-121184
13		0	100	25200	778,4	0	0	26078,4	-95106
14		0	100	25200	778,4	0	0	26078,4	-69027
15		0	100	25200	778,4	-45	-35105	-9071,6	-78099
16		0	100	25200	778,4	0	0	26078,4	-52021
17		0	100	25200	778,4		0	26078,4	-25942
18		0	100	25200	778,4	0	0	26078,4	136,132
19		0	100	25200	778,4	0	0	26078,4	26214,5
20		0	100	25200	778,4	-870	-40870	-15661,6	10552,9
21		0	100	25200	778,4	0	0	26078,4	36631,3
22		0	100	25200	778,4	0	0	26078,4	62709,7
23		0	100	25200	778,4	0	0	26078,4	88788,1
24		0	100	25200	778,4	0	0	26078,4	114867
25		0	100	25200	778,4	0	0	26078,4	140945
26		0	100	25200	778,4	0	0	26078,4	167023
27		0	100	25200	778,4	0	0	26078,4	193102
28		0	100	25200	778,4	0	0	26078,4	219180
29		0	100	25200	778,4	0	0	26078,4	245259
30		-300	0	25200	778,4	-605	-46225	-21151,6	224107
31		0	0	25200	778,4	0	0	25978,4	250085
32		0	0	25200	778,4	0	0	25978,4	276064
33		0	0	25200	778,4	0	0	25978,4	302042
34		0	0	25200	778,4	0	0	25978,4	328021
35		0	0	25200	778,4	0	0	25978,4	353999
36		0	0	25200	778,4	0	0	25978,4	379977